

## 論文審査の結果の要旨

氏名 伊地知 敬

深海における乱流散逸率の正確な定量化は、深層海洋大循環の解明に向けて重要な課題であるが、その見積もりには、比較的容易に観測できるファインスケールの流速鉛直シアや鉛直ストレインの情報を基にしたパラメタリゼーションの手法が広く用いられている。その内でも Gregg-Henyey-Polzin (GHP) パラメタリゼーションは、鉛直シアと鉛直ストレインとの比  $R_\omega$  を用いることによって、内部波スペクトルが Garrett-Munk (GM) モデルから周波数方向に歪んだ場合の影響を補正しており、現在、最も信頼性の高い乱流パラメタリゼーションとされている。本論文では、この GHP パラメタリゼーションにもまだ問題点があることを指摘するとともに、それを修正することで、新たな乱流パラメタリゼーションの提案を行っている。さらに、数値実験・乱流観測の結果から、修正された乱流パラメタリゼーションの有効性を確認している。

本論文は6つの章から構成されている。

第1章は導入部で、深海乱流パラメタリゼーションの重要性と、既存のパラメタリゼーションの解説が詳しく述べられている。

第2章では、まず、歪んだ深海内部波場における乱流観測を実際に行うことで、GHP パラメタリゼーションの有効性を検証している。乱流観測は、内部波スペクトルが低周波数側に著しく歪んでいると推察される伊豆-小笠原海嶺近海を中心として、深海乱流計 VMP-5500 に電気伝導度・温度・水深計 (CTD) と電磁流速計を搭載したマルチスケールプロファイラーを用いて行った。この観測結果から、深海での内部波スペクトルが低周波数側に著しく歪んだ  $R_\omega > 9$  の場合には、歪みの影響を考慮した GHP パラメタリゼーションでさえ、乱流散逸率を 2.4 倍ほど過大評価してしまうことが明らかにされた。

第3章では、GHP パラメタリゼーションの理論的基礎となる Henyey-Wright-Flatté (HWF) モデルを考察することで、この過大評価の原因を明らかにしている。今、内部波スペクトルが低周波数側に著しく歪んだ  $R_\omega \sim O(10)$  の場合、HWF モデルから得られる乱流散逸率は、内部波場が近慣性重力波に占められる場合にのみ得られる解析解に漸近する。GHP パラメタリゼーションでは、この  $R_\omega \sim O(10)$  における乱流散逸率の解析解をすべての  $R_\omega$  に利用することで、内部波スペクトルの歪みによる影響の補正を試みている。しかしながら、このままでは、内部波スペクトルが GM スペクトルと相似形を保つ場合 ( $R_\omega = 3$ ) に唯一得られる乱流散逸率の理論値との間に

大きな乖離が生じてしまう。そこで **GHP** パラメタリゼーションでは、この  $R_\omega = 3$  における予報値と理論値との乖離を解消するように補正係数を求め、これをすべての  $R_\omega$  における予報値に掛け合わせている。この単純な補正操作によって、皮肉にも、内部波場が近慣性重力波に支配される  $R_\omega \sim O(10)$  において、**GHP** パラメタリゼーションによる予報値は **HWF** モデルから得られる解析解の約 3 倍に達してしまう。以上の考察結果をもとに、本章では、内部波スペクトルが **GM** スペクトルと相似形を保つ  $R_\omega = 3$  の場合には乱流散逸率の理論値と一致し、低周波数側に著しく歪んだ  $R_\omega \sim O(10)$  の場合には **HWF** モデルから得られる乱流散逸率の解析解と等しくなるようにパラメタリゼーションの式の修正を行った。

第 4 章では、ray-tracing の概念に基づいたアイコンール計算により、**GM** スペクトルを様々に歪ませた内部波スペクトル内での乱流散逸率を求め、修正された乱流パラメタリゼーションによる予報値との比較を行っている。その結果、計算された乱流散逸率の各物理量に対する依存性は、修正された乱流パラメタリゼーションによるものと整合的であることが確かめられた。

第 5 章では、第 2 章で用いた乱流観測データから、修正された乱流パラメタリゼーションの有効性を確かめている。特に、**GHP** パラメタリゼーションでは観測された乱流散逸率の極大値を過大評価してしまう傾向があるのに対し、本論文で提案された乱流パラメタリゼーションは、この極大値を含めて、観測された乱流散逸率の鉛直構造をよく再現しており、その高いパフォーマンスを確認することができた。

第 6 章では、全体のまとめと、本論文で提案された乱流パラメタリゼーションを海洋大循環モデルに反映させていくための方針が述べられている。

以上、本論文で提案された乱流パラメタリゼーションは、従来の問題点をすべて解消することで、これまで開発されてきた様々な乱流パラメタリゼーションのうち最も汎用性に富んだものであることが確認された。この新たな乱流パラメタリゼーションは、海洋大循環モデルや大気海洋結合モデルのパフォーマンスを著しく向上させ、気候変動をはじめとする将来の地球環境変動の高精度予測に計り知れない貢献をもたらすものとして高く評価できる。なお、本論文の第 2 章～第 5 章は指導教員である日比谷 紀之教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を行ったもので、その寄与は十分であると判断できる。

従って、審査員一同は、博士 (理学) の学位を授与できると認める。